

## РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 624.012.45

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-296-304

Диана Антонова

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ ОБЫЧНЫХ И ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ

**Актуальность темы исследования.** Большинство пролетных железобетонных конструкций испытывают повторяющиеся нагрузки различные по величине и знаку, то есть сложного напряженно-деформационного состояния. При этом расчету прочности, деформативности и трещиностойкости нормальных сечений исследователями уделяется значительно большее внимание, чем расчетам их приопорных участков, включая наклонные сечения, из-за его сложности и недостаточной изученности.

**Постановка проблемы.** В процессе эксплуатации или в ходе боевых действий пролетные железобетонные конструкции испытывают значительные повреждения и существенное снижения несущей способности, особенно при действии малоциклового повторной нагрузки. В связи с этим возникает необходимость восстановления их работоспособности и/или увеличения несущей способности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В действующих нормах проектирования отсутствуют рекомендации по определению остаточной несущей способности таких конструкций и расчета их усиления. Известны способы восстановления работоспособности и усиления конструкции за счет увеличения сечения путем присоединения к ним дополнительных металлических или железобетонных элементов. Но методики расчета такого усиления также несовершенны.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Восстановление работоспособности указанных конструкций предлагается осуществлять путем усиления растянутых их частей ФАП, а выполненные экспериментальные исследования лягут в основу совершенствования авторами деформационного метода расчета их несущей способности.

**Постановка задачи.** Основной задачей является выявить особенности напряженно-деформированного состояния обычных однопролетных балок, испытанных на действие ступенчато возрастающей нагрузки до наступления предельного состояния или разрушения (серия I), малоциклового знакопостоянной (серия III), а также предварительно поврежденных и усиленных углепластиковыми обоймами (серия V) исследовательских элементов, доведенных до предельного состояния в предыдущих (серия III) экспериментах и сделать обобщенную оценку влияния указанного исследовательского фактора на их несущую способность.

**Изложение основного материала.** Цель заключается в изучении влияния прочности (класса) бетона на прочность, деформативность и трещиностойкость усиленных углепластиком пролетных железобетонных конструкций с учетом влияния других конструктивных факторов, величины и уровня повторной малоциклового нагрузки высоких уровней с совершенствованием деформационного метода их расчета и разработкой аналогов расчетных моделей их утомительного силового сопротивления действующим нагрузкам и учетом физической нелинейности использованных материалов.

**Выводы в соответствии со статьей.** Значения прогибов железобетонных образцов-балок больше зависят от величины относительного пролета среза. При его увеличении прогибы растут на 43 и 40 % соответственно к сериям.

**Ключевые слова:** бетон; арматура; углепластиковое полотно (ФАП); железобетонная балка; прогибы, деформации.  
Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 8.

**Актуальность темы исследования.** Большинство пролетных железобетонных конструкций испытывают повторяющиеся нагрузки различные по величине и знаку, то есть сложного напряженно-деформационного состояния. При этом расчету прочности, деформативности, трещиностойкости нормальных сечений исследователями уделяется значительно большее внимание, чем расчетам их приопорных участков, включая наклонные сечения, из-за его сложности и недостаточной изученности. В действующих отечественных и зарубежных национальных нормах проектирования закладке методы расчета прочности наклонных сечений, далеки от совершенства по точности и надежности прогноза и значительно «отстают» в этом отношении от метода расчета прочности нормальных сечений. Накопленные в последние десятилетия экспериментальные и теоретические данные не позволяют решить эту задачу до конца потому, что они носят в целом выборочный характер.

**Постановка проблемы.** Сопротивление железобетонных элементов совместного действия поперечных сил и изгибающих моментов при действии малоциклового знакопостоянной нагрузки высоких уровней является одной из наиболее важной и не до конца изученной проблемой как в теории железобетона, так и в реальном проектировании [1].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Неопределенное повторение в процессе эксплуатации и изменение знака нагрузки может привести к последствиям, качественно отличным от полученных при расчете на постоянную нагрузку максимальной интенсивности, на которое, собственно, ориентировано большинство действующих норм проектирования.

Если в действующих отечественных и зарубежных национальных нормах проектирования, даже при постоянной нагрузке заложены методы расчета прочности наклонных сечений пролетных конструкций далеки от совершенства по точности и надежности прогноза и значительно «отстают» в этом отношении от методов расчета прочности нормальных сечений, то влияние многократной циклической знакопостоянной нагрузки в них учитывается косвенно либо не учитывается вовсе, тем более высокого уровня.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Как показал обзор литературных источников, у исследователей еще не сложилось единое мнение о влиянии указанной нагрузки на несущую способность исследуемых элементов. Большинство из них указывает на её уменьшение при малоцикловой нагрузке. Однако часть из них [2; 3; 4] утверждает, что повторная циклическая нагрузка эксплуатационных уровней может привести к повышению прочности пролетных железобетонных элементов до 20 %, что требует дополнительных объяснений и экспериментального подтверждения.

Сопротивление поврежденных в процессе эксплуатации или в ходе боевых действий пролетных железобетонных конструкций, усиленных ФАП, от действия малоцикловой повторной нагрузки высоких уровней еще совсем не изучено. Поэтому исследования в указанном направлении важны и актуальны.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Данная тематика практически не изучена. Ранее никем не были изучены схемы разрушения приопорных участков усиленных углепластиком балок и не раскрыта его зависимость от соответствующего соотношения исследовательских факторов, что позволит усовершенствовать инженерную методику их расчета.

На основе проведенных экспериментально-теоретических исследований был усовершенствован инженерный метод их расчета по определению деформативности нормальных и наклонных сечений предварительно поврежденных и усиленных углепластиком балочных конструкций при действии малоциклового нагрузки высоких уровней относительно указанного фактора. Восстановление работоспособности указанных конструкций предлагается осуществлять путем усиления растянутых их частей углеволокном.

**Постановка задачи.** Выявить особенности напряженно-деформированного состояния однопролетных железобетонных балок, испытанных на действие, малоцикловой знакопостоянной нагрузки, а также предварительно поврежденных и усиленных углепластиковыми обоймами. Сделать обобщенную оценку влияния указанного исследовательского фактора на их несущую способность. Экспериментально проверить возможность инженерного применения наиболее распространенных нормативных и авторских методик для прогноза прочности, трещиностойкости и деформативности обычных и усиленных пролетных железобетонных конструкций при действии циклических нагрузок высоких уровней. Усовершенствовать существующие инженерные методы расчета прочности приопорных участков, в том числе наклонных сечений, указанных балочных конструкций с учетом действия указанного нагрузки.

**Изложение основного материала.** Согласно принятой методологии натурный эксперимент выполняется четырёхфакторным трехуровневым планом Бокса-Бенкина В4. Варьирования факторов осуществляли по данным литературного обзора источников, который показал, что наиболее влиятельным фактором  $X_1$  является величина относительного пролета среза  $a/h_0$ , которая менялась на трех уровнях:  $a = h_0, 2h_0$  и  $3h_0$ . Вторым по величине воздействия, как правило, является такой конструктивный фактор, как класс тяжелого бетона:  $X_2 \rightarrow C16/20, C30/35, C40/55$ , а третьим – величина (количе-

ство) поперечного армирования на приопорных участках:  $X3 \rightarrow \rho_{sw} = 0,0016; 0,0029; 0,0044$ . В качестве четвертого принят фактор внешнего воздействия  $X4$  и уровень знакопеременной нагрузки:  $n = \pm 0,50; \pm 0,65; \pm 0,80$  от фактической несущей способности, то есть величины поперечной нагрузки, при котором ширина раскрытия наклонных трещин  $w_k$  превышала 0,4 мм, а стрела прогибов  $f \geq 1/150$ .

Опытные образцы-балки хранили в нормальных тепло-влажностных условиях при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и почти 100 % влажности воздуха в течении 100...110 дней. Перед испытанием на боковые поверхности балок наносили тонкий слой известкового раствора с целью облегчения фиксации образования и развития нормальных и наклонных трещины, а затем высушивали их в естественной влажности.

Деформации бетона, арматуры и прогибы опытных образцов измеряли с помощью индикаторов часового типа с ценой деления соответственно 0,001 и 0,01 мм.

Испытания опытных образцов осуществляли по схеме однопролетной свободно опертой балки, поочередно загруженной то сверху, то снизу двумя сосредоточенными силами без изменения её (балки) положения.

Перед основным экспериментом сначала поочередно испытывали 25 исследуемых балок (образцов-близнецов) первой серии на действие однократного кратковременного ступенчато возрастающей нагрузки практически до разрушения, когда ширина раскрытия наклонных трещин и стрела прогибов превышали допустимые значения ( $w_k > 0,8$  мм,  $f \geq 1/150$ ). После этого испытывали аналогичные исследуемые балки второй и третьей серий при воздействии знакопеременных и знакопостоянных малоцикловых поперечных нагрузок указанных уровней в соответствии с базой испытаний  $N = 20$  циклов, после чего происходило нагружение образца практически до разрушения или достижения предельного состояния, если этого не произошло раньше на предыдущих циклах. Критериями разрушения опытных образцов служили достижения предельных значений деформаций в бетоне или арматуре, чрезмерно большое раскрытие (до 1 мм) наклонных (чаще) или нормальных (реже) трещин, существенное увеличение (до 15 мм) стрелы прогиба, отсутствие увеличения или спад (на 15 % и больше) показателей манометра насосной станции силовой установки. В четвертой серии опытные образцы-балки серии 2 после доведения их до предельного состояния были усилены металлической обоймой и испытаны при действии знакопеременной повторной нагрузки.

После доведения опытных образцов-балок серии 3 до предельного состояния по I и II группам, совершили усиления поврежденной нижней растянутой зоны и почти разрушенных приопорных участков арматурой ФАП из углепластикового полотна Sika® Wrap® -231C по установленной Sika Russie [5] технологии (серия 5). Конструкция указанного усиления приведена на рис. 1, 2, 3.



Рис. 1. Схема усиления нижней растянутой зоны и приопорных участков поврежденных железобетонных балок серии 3 с большим пролетом среза



Рис. 2. Схема усиления нижней растянутой зоны и приопорных участков поврежденных железобетонных балок серии 3 с средним пролетом среза



Рис. 3. Схема усиления нижней растянутой зоны и приопорных участков поврежденных железобетонных балок серии 3 с малым пролетом среза

Испытания усиленных внешней арматурой ФАП балок в серии 5 осуществляли по той же методологии, что и в серии 3 [6].

В процессе испытания установлено, что повторные малоциклового нагрузки на заданных планом эксперимента уровнях негативно влияют на величину стрелы прогиба балок, что обусловлено накоплением остаточных деформаций в сжатой зоне бетона и растянутой арматуре [4; 7].

Результаты измерения стрелы прогибов в опытных образцах-балках [8] после их стабилизации при заданных планом эксперимента уровнях ( $\eta F_u$ ) нагрузки, а также перед их разрушением ( $\approx 0,95F_u$ ), обработка данных позволила получить следующие математические модели стрелы прогибов:

$$\hat{Y}_{f_1}^{\eta F_u} = \frac{4,5 + 0,8X_1 + 0,35X_2 + 0,25X_3 + 0,85X_4 - 0,35X_1^2 - 0,15X_2^2 - 0,2X_4^2 + 0,3X_1X_3 + 0,2X_1X_4}{U = 6,0\%}, \quad (1)$$

$$\hat{Y}_{f_3}^{\eta F_u} = \frac{5 + 0,85X_1 + 0,4X_2 + 0,25X_3 + 0,9X_4 - 0,4X_1^2 - 0,15X_2^2 - 0,25X_4^2 + 0,3X_1X_3 + 0,2X_1X_4}{U = 6,4\%}, \quad (2)$$

$$\hat{Y}_{f_5}^{\eta F_u} = (3,5 + 0,5X_1 + 0,2X_2 + 0,5X_3 + 0,8X_4 + 0,3X_1X_4) \cdot 10^{-5}, \text{ мм} \\ U = 8,1\%; \quad (3)$$

То же перед разрушением:

$$\hat{Y}(f_1^{0,95F_u}) = 6 + 1,5X_1 + 0,65X_2 + 0,7X_3 + 0,34X_4 - 0,5X_1^2 + 0,2X_1X_3, \\ U = 5,8\% \quad (4)$$

$$\hat{Y}(f_3^{0,95F_u}) = 6,5 + 1,5X_1 + 0,75X_2 + 0,75X_3 + 0,35X_4 - 0,55X_1^2 + 0,2X_1X_3 \\ U = 5,1\%, \quad (5)$$

$$\hat{Y}(f_5^{0,95F_u}) = 13,4 + 5,2X_1 + 0,4X_4 - 0,4X_1X_2 \\ U = 5,4\%, \quad (6)$$

Геометрическая интерпретация математических моделей показана на рис. 4. и рис. 5.

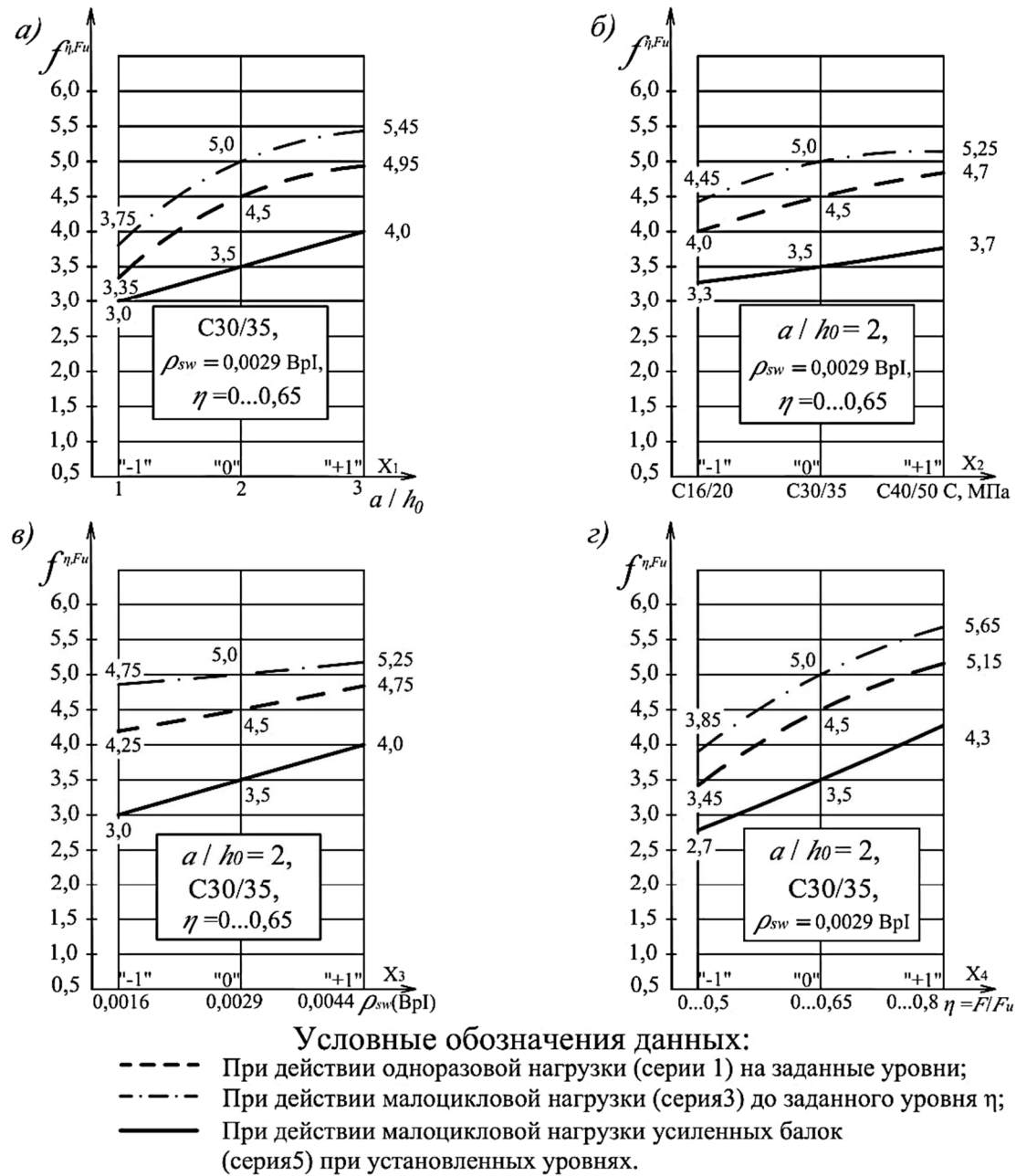
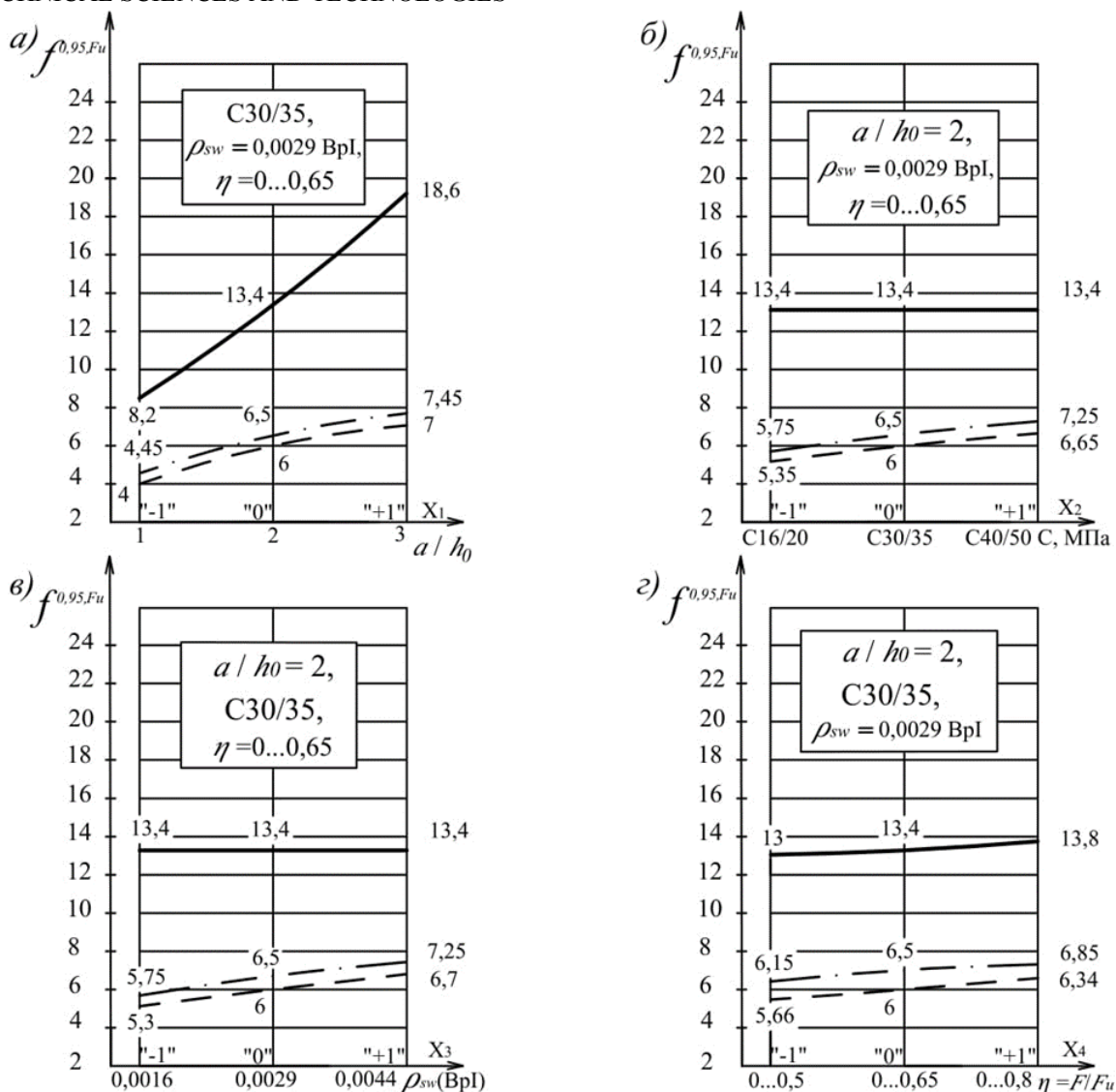


Рис. 4. Зависимость прогибов обычных (серии 1,3) и усиленных углепластиком (серия 5) железобетонных балок от величины относительного пролета среза,  $a/h_0$  (а), от класса бетона С (б), от количества поперечной арматуры  $\rho_{sw}$  (в), уровня малоцикловой повторной нагрузки (г)

Анализ математических моделей (1) и (3) и рис. 4 показывает, что значение прогибов опытных образцов 1, 3 и 5-й серий (табл. 1) на соответствующих уровнях нагрузки увеличиваются в среднем относительно средних значений 4,5; 5,0 и 3,5 мм при увеличении:

- относительного пролета среза  $a/h_0$  от 1 до 3 на 36, 34 и 28 %;
- класса бетона от С16/20 до С40/50 на 16 и 11 %;
- количества поперечной арматуры  $\rho_{sw}$  от 0,0016 до 0,0044 на 11 и 10 %;
- уровня поперечной нагрузки  $\eta$  от 0,5 до 0,8 на 38 и 14 %.



Условные обозначения данных:

- Перед разрушением исследуемых балок серии 1;
- · - · - · Перед разрушением исследуемых элементов серии 3;
- Перед разрушением усиленных углепластиком ж/б балок серии 5.

Рис. 5. Влияние величины относительного пролета среза,  $a/h_0$  (а), от класса бетона С (б), от количества поперечной арматуры  $\rho_{sw}$  (в), от уровня малоциклового повторной нагрузки (г), на прогибы обычных (серии 1,3) и усиленных углепластиком (серия 5) железобетонных образцов

Сравнение моделей (4) и (6) и рис. 5 показывает, что прогибы образцов 1-й и 3-й серий перед разрушением увеличиваются в среднем на 8 % относительно средних значений 6,0 и 6,5 мм при увеличении:

- относительного пролета среза  $a/h_0$  от 1 до 3 на 50 % и 46 %;
- класса бетона от С16/20 до С40/50 на 22 и 23%;
- количества поперечной арматуры  $\rho_{sw}$  от 0,0016 до 0,0044 на 23 %;
- уровня поперечной нагрузки  $\eta$  от 0,5 до 0,8 на 12 и 11 %.

## Стрела прогибов опытных образцов-балок

№ опыта	Стрела прогибов балок, мм, при $\eta F_u$						Стрела прогибов балок, мм, перед разрушением					
	$f_1^{\eta F_u}$ exp	$\hat{f}_1^{\eta F_u}$ 1	$f_3^{\eta F_u}$ exp	$\hat{f}_3^{\eta F_u}$ 2	$f_{3,f,5}^{\eta F_u}$ exp	$\hat{f}_{3,f,5}^{\eta F_u}$ 3	$f_1^{0,95F_u}$ exp	$\hat{f}_1^{0,95F_u}$ 4	$f_3^{0,95F_u}$ exp	$\hat{f}_3^{0,95F_u}$ 5	$f_{3,f,5}^{0,95F_u}$ exp	$\hat{f}_{3,f,5}^{0,95F_u}$ 6
1	6,36	6,55	6,82	7,1	6,0	5,8	8,88	8,9	9,51	9,50	17,9	18,6
2	4,08	4,45	4,62	4,9	3,6	3,6	7,62	8,2	8,88	8,80	17,3	17,8
3	5,21	5,45	5,68	6,0	4,5	4,8	7,08	7,1	7,55	7,6	17,9	18,6
4	3,19	3,35	3,49	3,8	2,3	2,6	6,28	6,4	6,93	6,9	17,3	17,8
5	5,57	5,85	5,89	6,3	5,8	5,4	7,31	7,6	7,99	8,0	18,6	19,4
6	3,71	3,75	3,79	4,1	3,4	3,2	7,35	6,9	7,34	7,3	17,9	18,6
7	4,60	4,75	4,80	5,2	3,9	4,4	5,96	5,8	6,13	6,1	18,6	19,4
8	2,61	2,65	2,70	3,0	2,0	2,2	4,35	5,1	5,48	5,4	17,9	18,6
9	3,92	3,95	4,09	4,4	4,2	4,2	6,32	5,5	6,29	6,1	8,4	9,0
10	2,23	2,65	2,70	3,0	2,4	3,2	4,88	4,8	5,56	5,4	7,6	8,2
11	3,82	4,05	4,23	4,5	3,4	3,2	4,37	4,5	5,24	5,0	8,4	9,0
12	2,58	2,75	2,82	3,1	2,4	2,2	4,23	3,8	4,49	4,3	7,6	8,2
13	2,94	3,25	3,24	3,6	3,7	3,8	4,15	4,2	4,81	4,6	7,5	8,2
14	1,79	1,95	1,90	2,2	2,6	2,8	3,59	3,5	4,08	3,9	6,7	7,4
15	2,98	3,35	3,36	3,7	2,6	2,8	3,50	3,2	3,80	3,5	7,5	8,2
16	1,93	2,05	2,00	2,3	2,2	1,8	2,94	2,5	3,07	2,8	6,7	7,4
17	4,53	4,95	5,21	5,45	4,0	4,0	7,16	7,0	7,59	7,45	17,9	18,6
18	3,62	3,35	3,61	3,75	3,0	3,0	4,04	4,0	4,81	4,45	7,5	8,2
19	4,88	4,70	5,28	5,25	3,6	3,7	6,56	6,65	7,42	7,25	13,1	13,4
20	4,04	4,00	4,37	4,45	3,5	3,3	5,53	5,35	5,88	5,75	13,7	13,4
21	4,82	4,75	5,18	5,25	4,1	4,0	6,74	6,7	7,50	7,25	13,0	13,4
22	4,27	4,25	4,64	4,75	3,1	3,0	5,46	5,3	5,96	5,75	13,8	13,4
23	5,46	5,15	5,65	5,65	4,5	4,3	6,23	6,35	7,02	6,85	13,8	13,8
24	3,36	3,45	3,81	3,85	2,7	2,7	5,88	5,65	6,37	6,15	13,0	13,0
25	4,39	4,5	5,00	5,0	3,6	3,5	6,29	6,0	6,72	6,5	13,2	13,4
$\sum(\bar{y} - \hat{y})^2$	1,29	1,74 мм <sup>2</sup>		1,92 мм <sup>2</sup>		2,65 мм <sup>2</sup>		2,45 мм <sup>2</sup>		17,65 мм <sup>2</sup>		
$\sigma = \sqrt{\sum(\bar{y} - \hat{y})^2 / 24}$	0,23	0,27 мм		0,28 мм		0,33 мм		0,32 мм		0,86 мм		
$\Delta = (\sigma / b_0) 100\%$	6%	6,4 %		8,1 %		5,8 %		5,1 %		6,4 %		

**Выводы в соответствии со статьей.** Значения прогибов железобетонных образцов-балок больше зависят от величины относительного пролета среза. При его увеличении прогибы растут на 43 и 40 %, соответственно, к сериям. На втором месте находится уровень поперечной нагрузки. При его увеличении прирост прогибов составляет 38 и 12 %. Рост класса бетона и коэффициента поперечного армирования увеличивает прогибы на 23 %.

В целом, влияние малоциклового знакопостоянной нагрузки на железобетонные образцы-балки существенно отличается от влияния однократной ступенчато возрастающей статической нагрузки. А именно, несущая способность образцов третьей серии на 10 % ниже по сравнению с 1-й серии. Также указанный вид нагрузки увеличивает ширину раскрытия нормальных и наклонных трещин до 15 %, размер относительных деформаций растянутой арматуры – на 8 %, размер относительных деформаций сжатого бетона - на 10%, размер прогибов – на 11 %.

## Список использованных источников

1. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). Москва, 2005. 217 с.
2. Бабич Е. М., Погореляк А. П. Прочность бетона после действия малоциклового сжимающей нагрузки. *Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура*. Москва, 1976. № 4. С. 33–36.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Бабич Є. М., Кухнюк О. М. Деформаційні характеристики бетону при осьовому малоцикловому стиску. *Вісник Рівненського державного технічного університету: збірник наукових праць*. 1999. Вип. 2, ч. 3. С. 21–25.

4. Бабич Е. М., Крусъ Ю. А., Панчук Ю. Н. Работа мелкозернистого бетона в условиях малоциклового статического нагружения. *Изв. вузов. Сер. Строительство*. Москва, 1995. № 9. С. 26–32.

5. СТО 13613997-001-2011. Стандарт организации. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами SikaR. Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий», ООО «Зика», 2011. 61 с.

6. Karpiuk V., Kostyuk A., Maistrenko O., Somina Yu. Influence of intermittent cyclic loading on reinforced concrete resistance model. *Electronic journal of the faculty of civil engineering of Osijek*. 2017. Number 15. P. 59–74.

7. Карпюк В. М., Сьоміна Ю. А., Костюк А. І., Майстренко О. Ф. Особливості напружено-деформованого стану і розрахунку залізобетонних конструкцій за дії циклічного навантаження високих рівнів. Одеса, 2018. 236 с.

8. Satpute A. S. “Retrofitting of Concrete Beams Using Externally Bonded GFRP Wraps- an Overview”, *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)*, Volume-03, Issue-12, 2016, pp.720-723.

### References

1. Posobie no proektirovaniu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii iz tiazhelogo betona bez predvaritelnogo napriazheniia armatury (k SP 52-101-2003) [A guide for the design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete without prestressing reinforcement (to SP 52-101-2003)] (2005). Moscow [in Russian].

2. Babich, E. M., Pogoreliak, A. P. (1976). Prochnost betona posle deystviya malotsiklovoy szhimayushey nagruzki [Strength of concrete after the action of low-cycle compressive load]. *Izv. vuzov. Ser. Stroitelstvo i arhitektura – Izv. universities. Ser. Construction and architecture*, 4, 33-36 [in Russian].

3. Babich, E. M., Kuhnyuk, O. M. (1999). Deformatsiini kharakterystyky betonu pry osovomu malotsyklovomu stysku [Deformation characteristics of concrete in axial low-cycle compression]. *Visnik Rivnenskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu – Bulletin of Rivne State Technical University*, 2 (3), 21-25 [in Ukrainian].

4. Babich, E. M., Krus, Yu. A., Panchuk, Yu. N. (1995). Rabota melkozernistogo betona v usloviyah malotsiklovogo staticheskogo nagruzheniya [The work of fine-grained concrete under conditions of low-cycle static loading]. *Izv. vuzov. Ser. Stroitelstvo – Izv. universities. Ser. Construction*, 9, 26-32 [in Russian].

5. СТО 13613997-001-2011. Standart organizatsii. Usilenie zhelezobetonnykh konstruksii kompozitnymi materialami SikaR, ОАО «TsNIIPromzdaniy», ООО «Зика» [STO 13613997-001-2011. Organization Standard. Reinforcement of reinforced concrete structures with SikaR composite materials] (2011). Moscow [in Russian].

6. Karpiuk, V., Kostyuk, A., Maistrenko, O., Somina, Yu. (2017). Influence of intermittent cyclic loading on reinforced concrete resistance model. *Electronic journal of the faculty of civil engineering of Osijek*, 15, 59-74.

7. Karpiuk, V. M., Somina, Yu. A., Kostyuk, A. I., Maistrenko, O. F. (2018). Osoblyvosti napruzheno-deformovanoho stanu i rozrakhunku zalizobetonnykh konstruksii za dii tsyklichnoho navantazhennia visokih rivniv [Features of stress-strain state and calculation of reinforced concrete structures under the action of cyclic loading of high levels]. Odessa [in Ukrainian].

8. Satpute A. S. (2016). “Retrofitting of Concrete Beams Using Externally Bonded GFRP Wraps- an Overview”, *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)*, Volume-03, Issue-12, pp.720-723.



UDC 624.012.45

Diana Antonova

**DETERMINATION OF DEFLECTIONS OF CONVENTIONAL AND DAMAGED REINFORCED CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH CARBON FIBER**

**Urgency of the research.** Most reinforced concrete structures have repeated loads of varying magnitude and sign, that is, a complex stress-strain state. At the same time, the calculation of the strength and deformability of the fracture resistance of normal sections by researchers is paid much more attention than the calculation of their supporting sections, including inclined sections, because of its complexity and insufficient study.

**Target setting.** During operation or in the course of hostilities, span reinforced concrete structures experience significant damage and a significant decrease in bearing capacity, especially when a low-cycle repeated load is applied. In this regard, there is a need to restore their performance and / or increase bearing capacity.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The current design standards do not contain recommendations for determining the residual bearing capacity of such structures and calculating their amplification. Methods for restoring performance and strengthening the structure by increasing the cross section by attaching additional metal or reinforced concrete elements to them are known, but the methods for calculating this gain are also imperfect.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** It is proposed to restore the operability of these structures by reinforcing their extended parts of the FAA, and experimental studies will form the authors' basis to improve the deformation method for calculating their bearing capacity.

**The research objective.** The main task is to identify the peculiarities of the stress-strain state of ordinary single-span beams, tested for stepwise increasing load before the onset of ultimate state or destruction (series I), low-cycle alternating sign (series III), as well as previously damaged and reinforced carbon-plastic clips (series V) of research elements brought to the limit in previous (series III) experiments and make a generalized assessment of the influence of the specified research factor on their bearing capacity.

**The statement of basic materials.** The goal is to study the effect of concrete strength (class) on the strength, deformability and crack resistance of span reinforced concrete structures reinforced with CFRP taking into account the influence of other design factors, the magnitude and level of repeated low-cycle load of high levels with the improvement of the deformation method of their calculation and the development of analogues of calculation models of their tedious power resistance to existing loads and taking into account the physical nonlinearity of the materials used.

**Conclusions.** The deflection values of reinforced concrete beam samples are more dependent on the relative span of the slice. With its increase, the deflections grow by 43 % and 40 %, respectively, to the series.

**Keywords:** concrete; fittings; carbon fiber cloth (CFRP); reinforced concrete beam; deflections; deformations.

Fig.: 3. Table: 1. References: 8.

**Антонова Диана Владимировна** – аспирантка Одеської державної академії будівництва та архітектури (вулиця Дідрихсона, 4, г. Одеса, 65000, Україна).

**Antonova Diana** – PhD student of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (4 Didrihson Str., 65000 Odessa, Ukraine).

**E-mail:** antonova.dv@ukr.net

**SCOPUS Author ID:** 57211209696

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9021-857X>